

# 岩石の磁性

(3)

## 造岩磁性鉱物

前回までに述べてきたように、岩石の磁性を特徴づけるものは岩石のなかに含まれているごく少量（普通の岩石では数%）の磁性鉱物であつて、造岩鉱物の大部分を占める石英・長石などの非磁性鉱物は薬品における増嵩材（タルク・ベントナイトなど）の役割を果しているにすぎない。（第1図参照）

造岩磁性鉱物のなかで一番有名なものはいうまでもなく磁鉄鉱である。磁鉄鉱はこの稿の初めにもふれたように、その発見は非常に古いといわれているが、この鉱物のもつ強い磁性の原因については最近まであまりよくわからなかつたようである。

1948年にフランスの有名な理論物理学者ネール（L. Néel）は、かつて知られていたFe, Co, Ni等の強磁性（ferro-magnetism）とは全く異つたフェリ磁性（ferri-magnetism）とよぶ新しい仮説を発表した。

この仮説はもともとフェライト（ferrite,  $MO \cdot Fe_2O_3$ ）ここのMはMn, Fe, Ni, Cuなど2価の金属元素）とよばれる一群の酸化金属半導体の示す強い磁性を説明する

ために考えられたものであるが、近頃では強い磁性をもつフェライト以外の酸化あるいは硫化金属半導体に適用されるようになった。

さて天然産の磁性鉱物で今日までよく知られているものとしては次のものがあげられる。

磁鉄鉱（magnetite,  $FeO \cdot Fe_2O_3$ ）

チタン磁鉄鉱 [titano-magnetite,  $x(FeO \cdot Fe_2O_3) \cdot (1-x)(2FeO \cdot TiO_2)$ ,  $0 < x < 1$ ]

フェリ磁性チタン鉄鉱 [ferri-ilmenite,  $xFe_2O_3 \cdot (1-x)(FeO \cdot TiO_2)$ ,  $0 < x < 1/3$ ]

マグヘマイト [maghemite,  $\gamma-Fe_2O_3$ あるいは $3(Fe^{3+}_2O_4)$ ]

磁硫鉄鉱（pyrrhotite,  $FeS_{1+x}$   $0.1 < x < 0.94$ ）

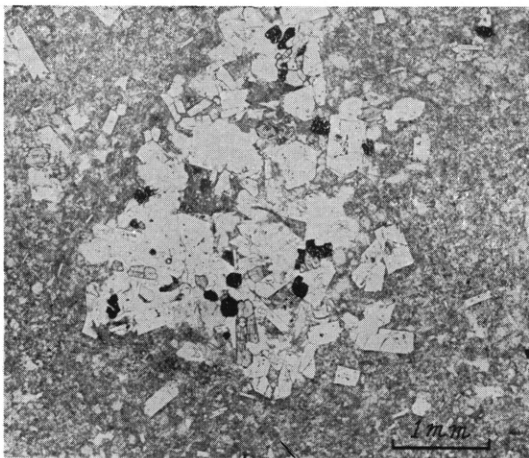
キューバ鉱（cubanite,  $CuFe_2O_3$ ）

これらはいずれも金属の酸化物あるいは硫化物からできている。

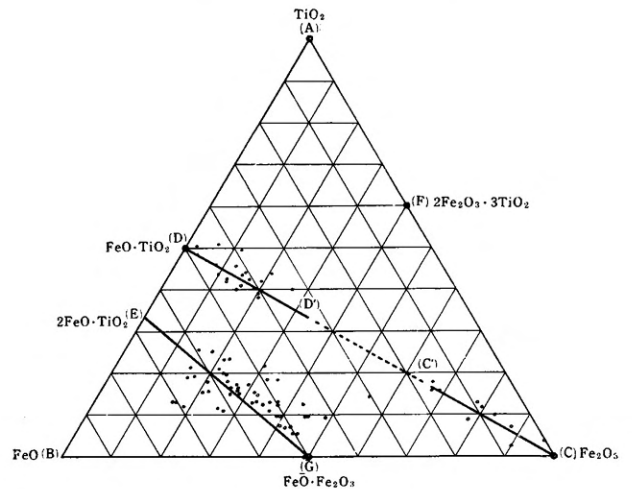
硫化物のなかには磁硫鉄鉱のように鉱石鉱物としてかなり重要なものもあるが、造岩鉱物としてはあまり重要なものとは思われない。

酸化物は岩石を構成する主な成分でその種類も多いが磁性鉱物をつくる酸化物はそのうちの一部に限られる。すなわち、前にあげた磁性鉱物（酸化物）の例でも明らかのように、 $Fe_2O_3$ ,  $FeO$  および  $TiO_2$  がその主なものといえる。

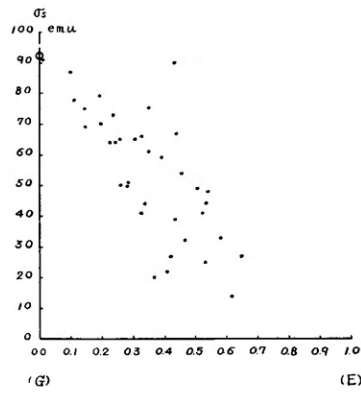
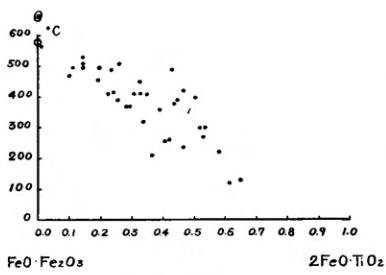
プイヤール（E. Pouillard）はこれら三種の酸化金属の



第1図 岩石のなかの磁性鉱物（黒色部）  
〔昭和西山 新塔岩（安山岩）〕



第2図  $Fe_2O_3 - FeO - TiO_2$  系三角図表（E. Pouillardによる）  
● 秋本氏による造岩磁性鉱物  
○ R. Chevallierによる天然産磁性鉱物

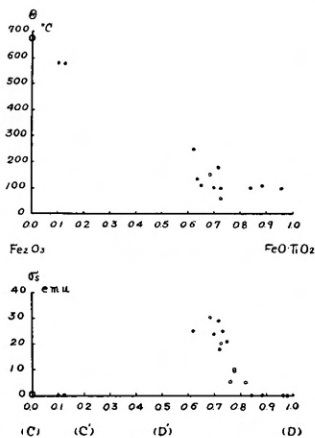


第3図 チタン磁鉄鉱の磁性

らばる丸点は、シバリエ(R.Chevallier) および秋本俊一氏が調べた天然産の磁性鉱物を図上におとしてみたものである。

ブイヤールの三角図表の便利な点は、造岩磁性鉱物のほとんど全部がこの一枚の図に示されていることではないかと思われる。すなわち、磁鉄鉱は  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  おのおの分子によつてできる鉱物であるから三角形底面の中心(G)にあり、チタン磁鉄鉱は磁鉄鉱とウルボスピネル(*ulvöspinelle*,  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) (E) とが任意の割合に溶けあつてできる固溶体 (solid solution) であるから (G) (E) を結ぶ直線によつて表される。

また、フェリ磁性チタン鉄鉱は三角形左斜辺の中心にあるチタン鉄鉱 (*ilmenite*,  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) (D) と赤鉄鉱 (*hematite*,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (C) を結ぶ直線 (D) 寄り  $\frac{1}{3}$  の D-D' 線によつてあたえられ、マグヘマイトは赤



第4図 チタン鉄鉱-赤鉄鉱系鉱物の磁性

間にできる鉱物について詳しい研究を行い、1950年にその結果を第2図に示すような  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$  系三角図表によつて表した。

この研究は化学的に合成した試料について行われたものであるが天然産の鉱物についても同じ結果がえられることは他の多くの研究者によつて次第に明らかにされてきている。

三角図表のなかから

鉄鉱と化学成分が同じであるから (C) 点に一致する。

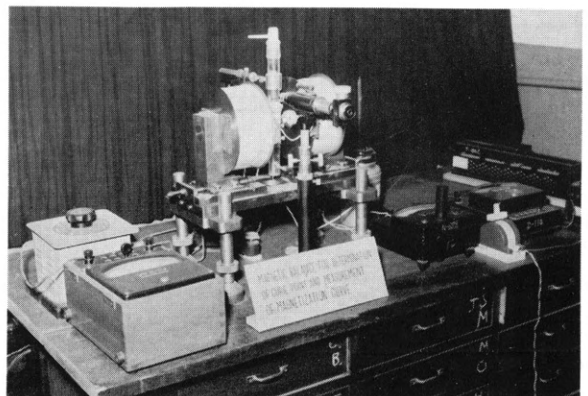
固溶体としてはこの他に C-D 線の (C) 寄り  $\frac{1}{3}$  の C-C' 線上にチタン赤鉄鉱 [titanohematite,  $x\text{Fe}_2\text{O}_3(1-x)(\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2)$ ,  $\frac{2}{3} < x < 1$ ] および三角形の右斜辺にチタン酸塩 (ferric-titanate  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{TiO}_2$ ) (F) を生じるが、造岩磁性鉱物としての実際の価値は少ないものといわれている。

次に天然産造岩磁性鉱物の化学組成でまず気をつくことは、第2図にも明らかなように、厳密な意味での磁鉄鉱やチタン鉄鉱は思ったよりも少ないことである。すなわち、従来顕微鏡の観察により一口に磁鉄鉱とよばれていた鉱物もこれを化学分析してみると、純粹の磁鉄鉱の化学組成よりは  $\text{FeO}$  が多く  $\text{TiO}_2$  も入ってくるのが普通であるから、より正しくはチタン磁鉄鉱とよばなければならない。

第2図は天然産チタン磁鉄鉱 (岩石の中から取りだしたものの) の化学組成と磁性の関係を示したもので、横軸に  $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$  の含有量、縦軸にキュリー点 (Curie point,  $\theta$ ) および飽和磁気 (saturation magnetization,  $\sigma_s$ ) をとつている。

キュリー点 とは温度を上昇した場合に物質が強い磁性を失つてしまう時の温度をいう  
飽和磁気 とは強い磁性を示す物質がとりうる最大の磁化の強さをいう

キュリー点は磁性物質の化学組成とその構造によつて決まる一定の温度で、純粹の磁鉄鉱では  $578^\circ\text{C}$  である。



第5図 磁気天秤 (magnetic balance) [キュリー点などの測定に用いる実験装置]

ところで、岩石の中のいわゆる磁鉄鉱は一般にこれよりも低い温度をとり(第6図参照)、第3図の上の結果で明らかのように、磁鉄鉱の578°Cを起点として $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ の溶けこむ量がふえるにつれて、キュリー点は次第に低くなる傾向を示している。

飽和磁気についても同じように、磁鉄鉱からウルボスピネルに向かい次第に弱まる傾向を示している。

ウルボスピネルはチタン磁鉄鉱をつくる1つの成分であるが、理論的には磁性は弱く(常磁性)、又この成分のみからなる鉱物は実在しないものと考えられている。

チタン磁鉄鉱について重要な造岩磁性鉱物はフェリ磁性チタン鉄鉱である。この鉱物の化学組成は磁性の弱い(常磁性)チタン鉄鉱を主にした赤鉄鉱との固溶体であるが、フェリ磁性による強い磁性をあらわす。

第4図はチタン鉄鉱と赤鉄鉱との間にちらばる鉱物の化学組成と磁性の関係を示したもので、横軸に $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ の含有量を、縦軸にはチタン磁鉄鉱の場合と同じようにキュリー点および飽和磁気をとっている。

一群のフェリ磁性チタン鉄鉱の中で最も強い磁性を示す鉱物は、第4図の下方の図面で明らかのように、 $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ が0.7(すなわちモル百分率では $\text{Fe}_2\text{O}_3$  20%、 $\text{FeO}$  40%、 $\text{TiO}_2$  40%)付近の化学組成を示す。

チタン赤鉄鉱については、この種の固溶体が実在することは明らかであるが、造岩磁性鉱物として問題になる

ほど磁性の強い鉱物はまだ知られていない。

赤鉄鉱の磁性は反強磁性(anti-ferromagnetism)とよばれる。理論的には常磁性と同じように磁性が弱いはずであるが、同族の鏡鉄鉱(specularite,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )などは磁性が強いと報告されているものが少なくない。

結晶型の異なるマグヘマイトはフェリ磁性による強い磁性を示すが、造岩磁性鉱物としての重要性はまだ明らかでない。

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{TiO}_2$ の3成分のほかに、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ などを問題にする人もあるが、これもはつきりした結果はまだえられていない。

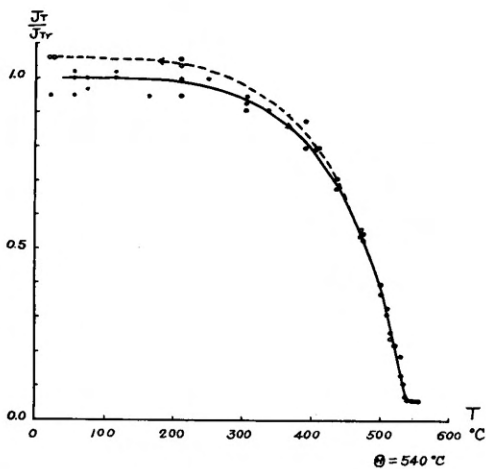
要するに、天然産の造岩磁性鉱物として最も重要なものは $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$ 系の鉱物であつて、中でも磁鉄鉱を含めたチタン磁鉄鉱の岩石の磁性における役割は非常に大きくほとんど支配的である。これについて注目される造岩磁性鉱物は、ある種のフェリ磁性チタン鉄鉱である。

## 「あとがき」

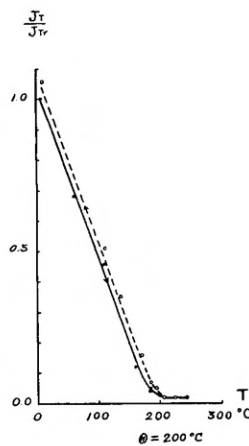
3回にわたり「岩石の磁性」における最近の話題を紹介してきたがこの学問の関係する分野は物理・化学・地質など非常に広く本稿でとりあげる内容の選択にはかなりの苦心を要した

磁気分析(magnetic analysis) 熱磁気分離(thermo-magnetic separation) 磁硫鉄鉱の磁性など取り残した問題も多いが、これらについてはまたあらためて述べることにしたい(完)

(物理探査部)



第6図 チタン磁鉄鉱の熱磁気曲線の一例  
宮崎島玄武岩中の磁鉄鉱結晶(松井氏提供)



第7図 フェリ磁性チタン鉄鉱の熱磁気曲線の一例  
〔岐阜県苗木産砂鉄(浜地氏提供)〕